

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МДП-СТРУКТУР CdS/ПЛЕНКА ЛЕНГМЮРА – БЛОДЖЕ/Au

А.Н. Георгобиани, Н.Г. Рамбиди, П.А. Тодуа, Е.Ф. Шестакова, Б.Т. Эльтазаров

Исследованы электрофизические свойства МДП-структур с изолирующим мультимолекулярным слоем стеариновой кислоты, сформированным на CdS по технологии Ленгмюра – Блодже. ВАХ и ВФХ структур свидетельствуют о туннельно-инжекционном механизме протекания тока.

Исследовались структуры на основе низкоомного CdS ($\rho \sim 0,5 \text{ Ом}\cdot\text{см}$) и мультимолекулярной пленки стеариновой кислоты, сформированной по технологии Ленгмюра – Блодже. Метод Ленгмюра – Блодже /1/ позволяет программируемо наносить на полупроводниковую подложку при комнатной температуре моно- и мультимолекулярные слои органических поверхностно-активных веществ. В нашем случае толщина изолирующей пленки стеариновой кислоты варьировалась в процессе формирования в пределах от 3 до 9 монослоев (толщина монослоя порядка 25 Å). Исходные образцы CdS в виде отполированных пластинок размером $9 \times 3 \times 1 \text{ мм}^3$ непосредственно перед нанесением пленок обрабатывались в полирующем травителе $\text{CrO}_3 + \text{HCl}$ (20 г на 30 мл) в течение 10 минут. Омический контакт к подложке создавался путем вжигания индия, контакт к ленгмюровскому слою образовывался напылением золота в вакууме не хуже 10^{-6} торр.

Для идентификации свойств полученных структур CdS/пленка Ленгмюра – Блодже/Au были приготовлены контрольные образцы диодов Шоттки CdS/Au путем напыления золота на свежепротравленную поверхность полупроводниковой подложки.

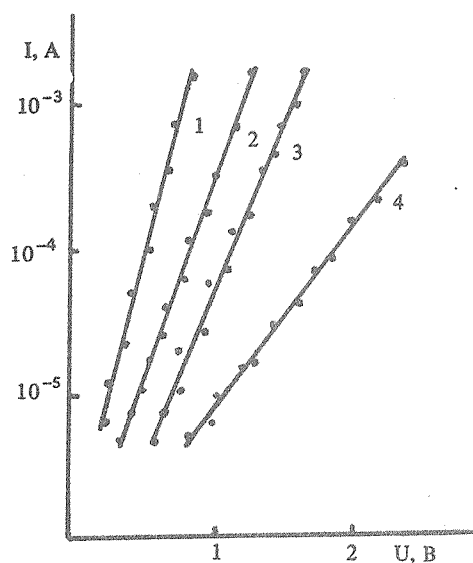


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики диода Шоттки (кривая 1) и МДП-структур с различной толщиной слоя стеариновой кислоты (кривые 2,3,4 – 3,6,9 монослоев соответственно).

На рис. 1 приведены вольт-амперные характеристики диода Шоттки и полученных МДП-структур с разным числом монослоев (3,6,9) стеариновой кислоты. Вид полученных кривых свидетельствует об инжекционном механизме протекания тока. Вольт-фарадные характеристики (рис. 2 и 3) диода Шоттки и МДП-структуры существенным образом отличаются, что подчеркивает различие электрофизических свойств этих структур.

Высоту барьера в случае диода Шоттки можно оценить из соотношения /2/:

$$\varphi = (kT/q) \ln(A^{**}T^2/I_s), \quad (1)$$

где $A^{**} = (m_e/m_0)A^*$ — эффективная постоянная Ричардсона (постоянная Ричардсона $A^* = 120 \text{ A}\cdot\text{см}^{-2}\text{K}^{-2}$); m_e/m_0 — относительная эффективная масса носителя; q — заряд электрона; I_s — плотность тока насыщения, определяемая путем экстраполяции линейного участка ВАХ диода Шоттки к нулевому значению напряжения. В нашем случае ток насыщения составляет $8 \cdot 10^{-7} \text{ A}$, что при площади контакта $8 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$ соответствует плотности тока $I_s \cong 10^{-5} \text{ A/см}^2$. Отношение $m_e/m_0 \cong 0,2$ [3]. Тогда оцененная по формуле (1) высота барьера φ составляет $0,65 \pm 0,05 \text{ В}$.

С другой стороны, высоту барьера можно определить из вольт-фарадной характеристики по отрезку, отсекаемому на оси напряжений при экстраполяции вольт-фарадной прямой до пересечения с осью абсцисс. Значение U_i , полученное таким образом, примерно $0,5 \text{ В}$ (рис. 2). Высота барьера, без учета вклада сил изображения [2], может быть определена как

$$\varphi = U_i + \varphi_F + kT/q, \quad (2)$$

где $q\varphi_F$ — глубина уровня Ферми.

С учетом значения глубины уровня Ферми $q\varphi_F \cong 0,1 \text{ эВ}$, определенного нами из измерений эффекта Холла, а также приняв $kT \cong 0,026 \text{ эВ}$ при $T = 300 \text{ К}$, высота барьера φ , определенная из (2), составляет $0,63 \pm 0,05 \text{ В}$, что хорошо согласуется со значением, определенным по (1).

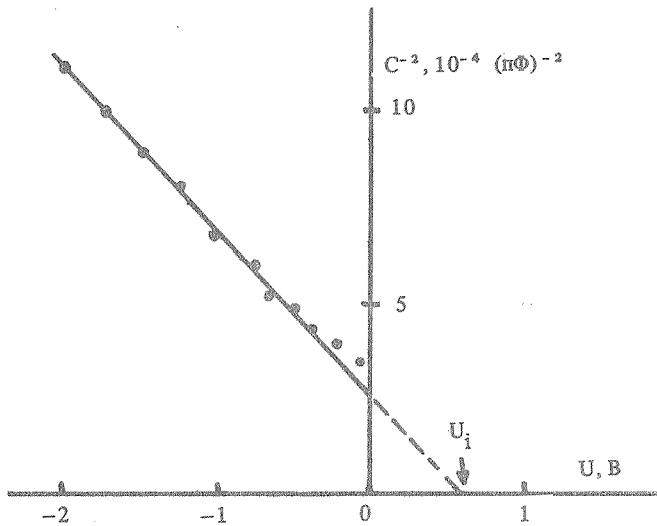


Рис. 2. Вольт-фарадная характеристика диода Шоттки.

На рис. 3 представлены высокочастотные ($f = 1 \text{ МГц}$) вольт-фарадные характеристики для структур с тремя и шестью монослоями стеариновой кислоты. Характерный вид полученных зависимостей $C(U)$ свидетельствует о том, что созданные нами структуры CdS/пленка Ленгмюра — Блодже/Au являются структурами типа МДП. Полную емкость C такой структуры можно представить в виде двух последовательно соединенных емкостей

$$C = C_i C_s / (C_i + C_s), \quad (3)$$

одна из которых (C_i) определяется электрофизическими свойствами изолирующей пленки, а другая (C_s) — свойствами полупроводника, причем последняя зависит от приложенного напряжения.

В диапазоне больших положительных смещений, когда происходит аккумуляция носителей в области перехода, емкость полупроводника велика, и результирующая емкость определяется емкостью изолятора. При отрицательных смещениях начинает сказываться емкость обедненного слоя, которая становится сравнимой с емкостью изолятора (и меньше ее) и по сути дела определяет результирующую емкость. В первом случае

$$C_{\max} \cong C_i = \epsilon_0 \epsilon_i S/d, \quad (4)$$

где ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума ($8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м); ϵ_i — диэлектрическая проницаемость изолирующей пленки стеариновой кислоты, которая составляет 2,07 [4]; d — толщина изолятора; S — площадь золотого контакта, которая равна $7 \cdot 10^{-4}$ см².

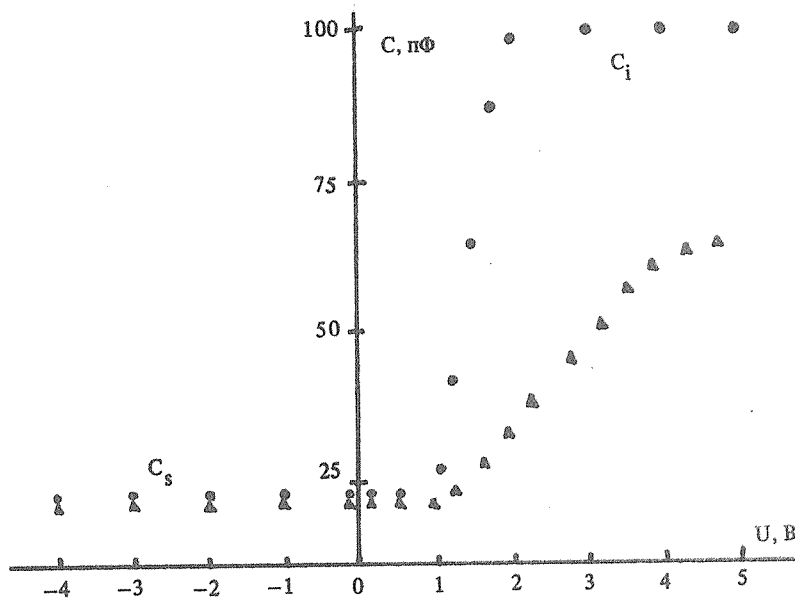


Рис. 3. Вольт-фарадная характеристика МДП-структур с различной толщиной слоя стеариновой кислоты (● — 3 монослоя, ▲ — 6 монослоев).

Исходя из значения $C_i = 100$ пФ для трех монослоев стеариновой кислоты, получаем значение $d \sim 100$ Å, что согласуется с оценочной толщиной трех монослоев ~ 80 Å. С другой стороны, из рис. 3 видно, что переход к шести монослоям приводит к соответствующему снижению значения C_{\max} .

В случае отрицательных смещений

$$C_{\min} \cong \frac{\epsilon_0 \epsilon_i S}{d + (\epsilon_i/\epsilon_s) W_m}, \quad (5)$$

где ϵ_s — диэлектрическая проницаемость полупроводника (для CdS $\epsilon_s = 8,9$ [3]); W_m — максимальная толщина обедненного слоя.

Исходя из значения $C_{\min} = 23$ пФ и считая, что $d \ll (\epsilon_i/\epsilon_s) W_m$ получаем значение $W_m = 0,3 \pm 0,05$ мкм. Сравним это значение с расчетным, которое определяется из соотношения [2]:

$$W_m \cong \sqrt{\frac{2\epsilon_s \psi_s(\text{inv})}{qN_d}} = \sqrt{\frac{4\epsilon_s kT \ln(N_d/n_i)}{q^2 N_d}}, \quad (6)$$

где $\psi_s(\text{inv}) \cong E_g/q$ — потенциал инверсии; N_d — концентрация ионизированных доноров. Значение N_d , определенное нами из холловских измерений, составляет $4 \cdot 10^{16}$ см⁻³; значение W_m , определенное из (6), составляет $0,7 \pm 0,1$ мкм. Можно утверждать, что между значениями W_m , определенными по (5) и (6), имеется соответствие, поскольку соотношение (6) дает максимально возможное значение W_m .

Сдвиг характеристик $C(U)$ на рис. 3 в сторону положительных значений напряжения на наш взгляд объясняется тем, что при $U = 0$ не наступает состояние плоских зон, как это имеет место в идеальной МДП-структуре. По-видимому, при $U = 0$ на границе раздела диэлектрик-полупроводник существует барьер и, соответственно, обедненная область. Положительное смещение понижает величину барьера, и состояние плоских зон реализуется при смещениях порядка 1 В.

Исследованные системы CdS/пленка стеариновой кислоты/Au представляют собой МДП-структуры, характеризующиеся туннельно-инжекционным механизмом протекания тока. Результаты исследования свидетельствуют о целесообразности применения метода Ленгмюра — Блодже для создания МДП-структур на основе соединений A_2B_6 .

В заключение авторы приносят благодарность А.Д. Левиту за предоставленные монокристаллы сульфида кадмия, С.И. Веденеву, Е.Зада-Улы и А.С. Холманскому за помощь в выполнении отдельных этапов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Batey J., Roberts G. G., Petty M. C. Thin Solid Films, 99, 283 (1983).
2. Зи С. — Физика полупроводниковых приборов. М., Мир, 1984, т. 1, с. 455.
3. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. М., Мир, 1973, с. 456.
4. Mann B., Kuhn H. J. Appl. Phys., 42, 4398 (1971).

Поступила в редакцию 29 июня 1987 г.